

文章编号: 1674—8247(2017)06—0045—05

雅万高速铁路无线通信系统技术适用性研究

温士雅

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300251)

摘 要:文章以印度尼西亚雅加达至万隆(简称“雅万”)高速铁路工程为依托,立足于世界范围内高速铁路无线通信技术体制,通过对各种无线通信系统技术特点、性能、市场、成本、风险、RAMS、频段适应性、列车最高运行速度及运营案例等的分析研究,建议雅万高速铁路采用 900 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)技术方案,并提出了几套无线子系统的组网方案。通过对各方方案容灾性、可靠性、抗干扰能力、频率规划、投资等方面的比选,得出了适用于印度尼西亚国情且节省投资的最优方案,为中国高速铁路无线通信技术标准在世界各国的国际化应用提供参考。

关键词:GSM-R; 无线通信系统; 技术标准

中图分类号:U285.21 文献标志码:A

Study on Technology Applicability of Wireless Communication System for JKT-BDG High-speed Railway

WEN Shiya

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300251, China)

Abstract:Based on Djakarta-Bandung High-Speed Railways Project in Indonesia and wireless communication technology system for high-speed railway in the world, the analysis and study have been made on features, performance, market, cost, risk, RAMS and frequency band adaptability of wireless communication system technology, and maximum operating speed and operation cases of train, etc.. It is proposed in this article that the 900 MHz band GSM-R and some networking schemes of wireless subsystem are adopted for the JKT-BDG HSR project. The optimal scheme to Indonesia conditions and investment saving is obtained by comparing the ability of disaster recovery, reliability, anti-interference ability, frequency plan, investment and etc. of the different schemes. It provides significant reference for the international application of Chinese high-speed railway wireless communication technical standard in all over the world.

Key words:GSM-R; wireless communication system; technical standard

无线通信系统应满足列车最高运行速度下的工程运营使用需要,在技术体制选择上,应重点考虑无线通信系统的业务运用、功能要求及技术发展方向。因此,无线通信系统技术体制在选择时应充分借鉴世界各国的成果经验,在满足运营使用需要的前提下,选择技术先进、无线频率资源可用、产品供应广泛、运营维护方

便的技术体制。同时,应考虑列车机车综合无线设备与既有铁路无线通信系统的兼容性。

无线通信系统在选择时,应充分考虑存在的各种风险,主要包括技术风险、投资风险、工程工期等,对存在的风险进行控制,确保工程按照计划顺利实施。

技术风险主要包括技术的标准化及成熟度,工程

收稿日期:2016-12-15

作者简介:温士雅(1987-),男,工程师。

引文格式:温士雅. 雅万高速铁路无线通信系统技术适用性研究[J]. 高速铁路技术,2017,8(6):45-49.

WEN Shiya. Study on Technology Applicability of Wireless Communication System for JKT-BDG High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6): 45-49.

中应选用技术标准化及成熟度高的技术及产品,减少因技术不成熟或技术标准化低带来的影响工程运营的使用技术风险。

投资风险主要包括技术体制确定后带来的工程基本投资和为满足运营使用要求进行二次研发所需的投资等不可控风险。因此,在无线通信系统的选择上应充分借鉴世界各国高速铁路的成果及经验,采用技术标准化及成熟度高的技术及产品,降低工程基本投资和为满足运营使用要求进行二次研发所需的投资等不可控风险。

工程工期是工程建设中的关键要素之一,技术标准化及成熟度高、产品供应广泛,以及在充分借鉴世界范围内高速铁路成功运用经验的基础上减少二次研发所需时间是确保工程工期按时完成的重要因素,无线通信系统选择时应重点考虑。

印度尼西亚雅加达至万隆(简称“雅万”)高速铁路作为中国全产业链出口的第一条高速铁路,信号系统采用 CTCS-3 级列控系统,设计速度 350 km/h。由于印度尼西亚当地无线频谱资源匮乏,因此需要结合技术风险、投资风险以及工程工期选择适合的铁路专用无线通信系统来承载 CTCS-3 级列控信息及其他铁

路专用业务。

1 高速铁路无线通信系统技术简介

在世界范围内,欧洲各国高速铁路无线通信均采用铁路数字移动通信系统(GSM-R),且为 UIC 规定的标准 R 频段,主要实现语音业务、分组域数据业务、电路域数据业务等,产业链非常成熟,造价适中。美国 PTC 无线控车尚在研究中,主要基于 GPS 系统,属于非公开的国际标准。同时,也在尝试引入 UIC 标准的 GSM-R 系统作为其高速铁路的一种无线通信系统。在韩国,高速铁路无线通信系统采用 800MHz TETRA 数字集群移动通信系统。TETRA 技术在世界各国城市轨道交通中应用广泛,产业链极为成熟,造价较低。日本新干线列车无线通信系统是一种多信道无线系统,全程漏泄同轴电缆(LCX)方式。产业链中的标准、技术都掌握在少数日本企业手中,产品系统相对封闭,造价较高。LTE-R 作为未来高速铁路移动通信技术的发展方向,目前尚无统一的技术标准,在世界高速铁路中还未得到应用,但其卓越的技术性能为高速铁路无线通信系统的发展带来了更多的可能性。高速铁路无线通信系统技术体制分析如表 1 所示。

表 1 无线通信系统技术体制必选分析表

技术指标	全程漏泄同轴电缆 多信道无线通信系统	TETRA 数字集群 移动通信系统	铁路数字移动通信 系统(GSM-R)	LTE-R
标准	无	Standard based on ETSI 无 ETCS、CTCS 应用	Standard based on EIRENE (subset 93)、ETSI and 3GPP, ETCS/CTCS	UIC 标准制定中
数据传输速率	低	CS Data: 7.2 Kbit/s PS Data: not available	CS data: 22 Kbit/s PS data: 48 Kbit/s	带宽系统 20M 带宽下,上行 75 Mbps、 下行 150 Mbps
移动性能	好,可支持超过 300 km/h 的行车	一般超过 200 km/h 后,无线性能 下降,误码率上升,到 350 km/h 时 影响十分明显	可以支持 350 km/h 的高速 行驶	可以支持 350 km/h 的 高速行驶
多址方式	SDMA	TDMA	TDMA	下行 OFDMA 上行 SC-FDMA
带宽	不同的组建占用的带宽不同	5M,每个信道 25kHz	标准为 4M,每个信道 200 kHz	根据申请的频段定, 5Mhz、10Mhz、20Mhz
调制方式	GMSK	$\pi/4$ DQPSK 的调制方式,调制信道 比特率为 36 kbit/s,一个 TDMA 帧为 170/3 ms,分 4 个时隙,每个 时隙 85/6 ms,可携带 510 个调制 比特,上行时隙又可进一步分为 2 个子时隙,每个子时隙 85/12 ms, 可携带 255 个调制比特	与 GSM 相同,采用 GMSK 调制,8 时隙/200khz TDMA 方式,调制速率 270kb/s	OFDM、256QAM 或 BPSK
频谱利用率	较高	4 信道/25kHz,TETRA 的频谱利用 率是 GSM 的频谱利用率的 4 倍	GSM 提供 8 信道/200kHz	3Mhz、5Mhz、10Mhz
供应商产业链	产业链中的标准、技术都 掌握在少数日本企业手中, 产品系统相对封闭	产业链非常成熟,调度台,车载台, 手持终端都有成熟生产厂家	产业链非常成熟,调度台, 车载台,手持终端都有成熟 生产厂家	UIC 标准还未完善, 产业链不成熟
成本	供应商极少,成本较高	成本较低,无线子系统与 GSM-R 造价相当	成本适中,无线子系统与 TETRA 造价相当,移动交 换子系统高于 TETRA	还未得到应用,供应商 较少,成本较高

2 雅万高速铁路无线通信系统功能需求

依据雅加达至万隆高速铁路等级及信号制式的要求,列车无线通信系统需提供语音通信、数据通信功能,需提供的主要业务如表 2 所示。

表 2 列车无线通信系统需实现的主要业务一览表

系统功能	功能说明	雅万高铁信号系统需求	备注
语音通信功能	区间和车站维修作业人员间的语音通信,需要点对点通话连接和多方通话的支持	-	-
	调度中心调度员和车站值班员、列车司机之间的通信。需要点对点通话连接和多方通话的支持	-	-
数据通信功能	基于铁路无线通信系统的数据通信功能,传输列车运行前方线路情况,包括各个闭塞分区的长度、曲线半径、线路限速、坡度等;由调度员在调度中心发出的临时限速;前方列车位置,即占用情况;联锁系统提供的站内进路信息等数据	采用 CTCS-3 需列车无线通信系统传输列车自动控制数据	-
	调度员与司机间有关调度命令短报文等调信息传输	-	包括调车无线通信数据传输、调度命令信息传输
	列车无线车次号校对信息传输	-	包括列车无线车次号校对信息传输等

表 3 高速铁路无线通信系统满足雅万高速铁路功能需求情况一览表

系统功能	业务名称	全程漏泄同轴电缆多信道无线通信系统	TETRA 数字集群移动通信系统	铁路数字移动通信系统(GSM-R)	LTE-R
语音通信功能	区间和车站维修作业通信	•	•	•	•
	调度员和车站值班员、列车司机之间通信	•	•	•	•
数据通信功能	列车自动控制数据传输(如果列控系统采用无线通信的话)	承载 ATC 列控业务,新型 CARAT 列控系统尚处于试验中	数据传输采用分组数据传输方式,无 TETRA 系统承载信号列车自动控制数据传输的标准,也无应用实例及试验,研发及验证存在风险	900 MHz 频段 GSM-R 系统承载 CTCS 列控业务;1800 MHz 频段 GSM-R 系统可以承载 CTCS 列控业务,但在高速铁路上无应用案例,传播特性需验证	有待研发及验证
	铁路运输对象的远程控制(调度命令信息传输)	•	需研发及验证	•	•
	列车无线车次号校对信息传输	•	需研发及验证	•	•

注:•表示无线通信系统可实现的业务和功能

由表 3 可知,900 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)能满足雅万高速铁路列车无线通信系统功能需求^[1]。

1 800 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)可支持列车自动控制数据传输,且在澳大利亚货运铁路中已有应用案例,但是在高速铁路中尚未有过应用,在行车速度 350 km/h 的情况下,其传播特性尚未得到验证。

TETRA 数字集群移动通信系统在列车自动控制数据传输、诊断信息传输、铁路运输对象的远程控制(调度命令信息传输)、列车无线车次号校对信息传输等方面需进行研发。

TETRA 数字集群移动通信系统及 LTE-R 的数据通信功能均需进行验证,方能满足雅万高速铁路的需求。

3 雅万高速铁路无线通信系统技术选择

3.1 高速铁路无线通信系统满足雅万高速铁路功能需求情况

世界范围内,高速铁路各种无线通信系统技术满足雅万高速铁路无线通信业务需求的情况如表 3 所示。

LTE-R 目前还处于标准研发阶段,承载 CTCS-3 级列控功能还需验证。

3.2 无线系统的技术体制选择

结合雅万高速铁路信号系统列控数据传输承载方式,对列车无线通信系统技术体制进行分析,各种无线通信系统技术特点、性能、市场、成本、风险和 RAMS 等对比情况如表 4 所示。

由表 4 可以看出:

(1)全程漏泄同轴电缆多信道无线通信系统是日本新干线专有的列车无线通信系统,可承载日本的 ATC 列控系统。但此技术与世界其他各国的无线通信系统均不兼容,无法实现世界范围内铁路联网的需求,亦无法承载 CTCS-3、ETCS-2 级列控系统。因此,不建议雅万高速铁路采用全程漏泄同轴电缆多信道无线通信系统承载信号列车自动控制数据方案。

表 4 高速铁路无线通信系统对比分析表

技术指标		全程漏泄同轴电缆多信道无线通信系统	TETRA 数字集群移动通信系统	铁路数字移动通信系统 (GSM-R)	LTE-R
工作频段		400MHz	400/800 MHz	900M/1 800 MHz	700 ~2 600 MHz
技术特点		数字系统	数字系统	数字系统	数字系统
技术性能	技术标准	非 UIC 标准	非 UIC 标准	UIC 标准 (1 800 MHz 频段 GSM-R 系统为非 UIC 标准)	制定中
	技术成熟度	成熟	成熟	成熟	不成熟
	列车间通信	•	•	•	•
	区间和车站维修作业通信	•	•	•	•
	维修人员和列车司机通信	•	•	•	•
	列车自动控制数据传输	承载 ATC 列控业务,新型 CARAT 列控系统尚处于试验中	数据传输采用分组数据传输方式,无 TETRA 系统承载信号列车自动控制数据传输的标准,也无应用实例及试验,研发及验证存在风险	900 MHz 频段 GSM-R 系统可承载 CTCS 列控业务;1 800 MHz 频段 GSM-R 系统无高速铁路应用案例,传播特性需验证	有待验证
	诊断信息传输	•	需研发及验证	•	研发中
	铁路运输对象的远程控制(调度命令信息传输)	•	需研发及验证	•	研发中
	列车无线车次号校对信息传输	•	需研发及验证	•	研发中
	设备供应商	单一	多	多(1 800 MHz 频段较少)	不确定
RAMS	可靠性	高	高	高	有待研发及验证
	可用性	高	高(承载列控时,需有待验证)	高	有待研发及验证
	安全性	高	高	高	有待研发及验证
	可维护性	高	高	高	有待研发及验证
列车最高运行速度 (km/h)		350	350	350(1 800 MHz 频段 GSM-R 系统需验证)	350
运营案例		有	800 M 频段有运用(均未承载列控)	有(1 800 MHz 频段已开通的线路列车速度 120 km/h、未承载列控)	无

注:•表示无线通信系统可实现的业务和功能

(2) TETRA 数据传输采用分组数据传输方式,数据传输存在较大时延,很难满足列车自动控制数据传输对时延及无差错传输时间要求。且目前没有基于 TETRA 数字集群通信系统的信号列车自动控制数据传输标准,已开通的世界各国高速铁路也均未采用 TETRA 数字集群通信系统承载信号列车自动控制数据传输。对 TETRA 数字集群通信系统承载信号列车自动控制数据传输进行研发存在技术风险高、对工程工期影响大、投资风险高的问题。因此,不建议雅万高速铁路采用 TETRA 数字集群通信系统承载信号列车自动控制数据方案。

(3) 根据 UIC 有关 LTE-R 系统实施计划安排,预计 2025 年左右 LTE 可在铁路上商用,通过平滑演进, GSM-R 可演进至 LTE-R。但到目前为止, LTE-R 技术标准仍在制定中,其运用方式、频段分配以及承载 CTCS-3 级列控系统的技术要求均处于研究中。因此,不建议雅万高速铁路采用 LTE-R 承载信号列车自动控制数据方案。

(4) GSM-R 系统主要实现语音业务、分组域数据

业务、电路域数据业务等。语音业务包括点对点呼叫、组呼、广播呼叫等。基于电路域实现的数据业务主要包括调车机车信号和监控业务、CTCS-3/ETCS-2 级列控业务及机车同步操控业务。基于 GPRS 实现的业务主要包括调度命令、列尾信息、车次号信息^[2]。

3.3 GSM-R 系统频段因素分析

铁路数字移动通信系统 (GSM-R) 符合 UIC、ITU-R (国际电信联盟无线电通信组) 和 3GPP 标准,且在欧洲及中国等区域运用广泛。其使用频段在相关标准中也有相应规定。

(1) 国际标准

国际铁路联盟 (UIC) 为推进欧洲铁路一体化进程,于 1997 年 6 月确立基于 GSM Phase2 + 标准的 GSM-R (GSM for Railway) 技术作为新一代欧洲铁路无线移动通信基本制式,制定并修改完善了欧洲铁路联盟 ERTMS《GSM-R 数字移动通信规范中功能需求规范》和《GSM-R 数字移动通信规范中系统需求规范》^[3]。

在《GSM-R 数字移动通信规范中系统需求规范》

中明确了 GSM-R 系统的“R-GSM 频带和信道安排”,规定铁路数字移动通信系统(GSM-R)应工作在子频带或若干子频段的组合上,移动台发射频率带宽为 876 ~ 880 MHz,基站发射频率带宽为 921 ~ 925 MHz。采用绝对无线频率信道号定义载波频率,对使用规定频带的载波按下式进行计算:

$$F1(n) = 890 + 0.2(n-1024) \quad (1)$$

$$Fu(n) = F1(n) + 45 \quad (n = 955 \sim 973) \quad (2)$$

式中: $F1(n)$ ——处于低频带中的绝对无线频率信道号 n 的频率值;

$Fu(n)$ ——处于高频带中的相应频率值。

另外,国际铁路联盟(UIC)对 R-GSM 频段进行了扩展,增加了 E-GSM 频段,移动台发射频率带宽为 880 ~ 890 MHz,基站发射频率带宽为 925 ~ 935 MHz,仍采用绝对无线频率信道号定义载波频率方式^[4]。

(2) 设备供应

目前,能提供铁路数字移动通信系统(GSM-R)设备的主要供应商有华为公司、中兴通讯公司、诺基亚公司、KAPCH 公司等,其设备产品遵守国际铁路联盟(UIC)GSM-R 的相关规定,提供的产品均为 900 MHz 频段产品,同时华为公司还能够提供 1 800 MHz 频段的产品。

(3) GSM-R 系统工作在 1 800 MHz 频段存在的问题

虽然 1 800 MHz 频段 GSM-R 系统在澳大利亚货运铁路已有应用案例,但在高速铁路工程运用中仍存在一定问题,需慎重考虑。

① 设备供应方面

目前,能提供 1 800 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)设备的供应商不多。

② 工程运用

1 800 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)在澳大利亚普速铁路的应用中,不承载列控数据和机车同步操控业务。世界各国开通运用的高速铁路无线系统均未采用 1 800 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R),其传输模型、覆盖预测、列控信息传输要求(包括数据传输时延要求、20 s 数据传输不中断等)及其他数据通信功能、列车速度适应能力需验证。

③ 成本及工期影响

产品本身传输模型、覆盖预测、列控信息传输要求等的研发及验证过程需较长的时间和大量的验证数据,将对工程工期带来影响。同时,这些研发、验证及实验本身将对产品成本造成影响,增加部分工程投资。

4 总结

随着世界范围内高速铁路的建设,用于承载列车控制信息且成熟的无线通信技术标准的研究已经提上日程。同时,世界各国高速铁路通信、信号等系统的互联互通也成为当前乃至今后的研究热点。本文从印度尼西亚雅加达至万隆高速铁路工程入手,根据世界各国在铁路成熟应用的无线通信技术的特点,在列车运行速度 350 km/h,列车自动控制数据传输要求情况下,结合技术特点、性能、市场、成本、风险、RAMS、频段适应性、列车最高运行速度及运营案例等分析,建议雅万高速铁路采用 900 MHz 频段铁路数字移动通信系统(GSM-R)技术方案,为世界其他国家高速铁路无线通信系统的选择提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] 刘赧辰. GSM-R 技术在高速铁路通信系统中的应用[J]. 铁路技术创新, 2011, 9(1): 82-85.
LIU Kaichen. Application of GSM-R Technology in Communication System of High-speed Railway [J]. Railway Technical Innovation, 2011, 9(1): 82-85.
- [2] 王欣, 钟章队. 欧洲铁路新一代数字无线移动通信系统[J]. 中国铁路, 2001, 22(5): 53-55.
WANG xin, ZHONG Zhangdui. New-generation Digital Wireless Mobile Communication System for European Railways [J]. Chinese Railways, 2011, 22(5): 53-55.
- [3] 刘建宇, 胡晓红. 客运专线 GSM-R 系统无线覆盖设计方案探讨[J]. 铁道通信信号, 2007, 43(1): 35-38.
LIU Jianyu, HU Xiaohong. Discussion on Radio Coverage Design of Passenger Dedicated Line for GSM-R [J]. Railway Signalling & Communication, 2007, 43(1): 35-38.
- [4] 铁建设[2007] 92 号, 铁路 GSM-R 数字移动通信系统工程设计暂行规定[S].
Tie Jian She [2007] No. 92, Regulations for Engineering Design of Railway GSM-R Digital Mobile Communication System (Temporary) [S].
- [5] 铁道部工程设计鉴定中心, 北京全路通信信号研究设计院. 中国铁路 GSM-R 移动通信系统设计指南[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
Engineering design and identification center of the Ministry of Railways, Beijing National Railway Research & Design Institute of Signal & Communication Ltd. Design Guide for GSM-R mobile communication system for China railways [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2008.
- [6] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High-speed Railway[S].

(编辑: 朱雨辰 张红英)